



AUSLEGESCHRIFT

1 203 378

Int. Cl.: H 02 k

Deutsche Kl.: 21 d2 - 16

Nummer: 1 203 378

Aktenzeichen: A 38311 VIII b/21 d2

Anmeldetag: 12. September 1961

Auslegungstag: 21. Oktober 1965

1

Die Erfindung betrifft einen selbstanlaufenden Synchronreluktanzmotor mit einem Ständer, der eine Wicklung zur Erzeugung eines Drehfeldes aufweist, einem Läufer, der drehbar in dem Ständer gelagert ist, wobei der Läufer eine Kurzschlußwicklung für den Anlauf des Motors trägt und einen magnetisch leitenden Kern mit einer der Statorpolzahl entsprechenden Zahl über den Umfang gleichmäßig verteilter ausgeprägter Pole aufweist, von denen ein jeder mindestens eine sich in Längsrichtung erstreckende flußsperrende Nut besitzt, und mit im Läufer angeordneten Permanentmagneten.

Es ist bereits bekannt, bei selbstanlaufenden Synchronreluktanzmotoren Sperren für den magnetischen Fluß im Läuferkern vorzusehen, die eine gute Leitung des magnetischen Flusses in Längsrichtung und eine Verkleinerung der Leitfähigkeit für den magnetischen Fluß in Querrichtung bewirken.

Aus der Primärstromortskurve des Reluktanzmotors kann man leicht seine Stärken und Schwächen erkennen. Diese Ortskurve ergibt sich für den Synchronlauf leicht, wenn man gemäß

$$I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$$

den Längs- und Querstrom (I_d , I_q) des Ständers zu dem gemeinsamen Primärstrom I zusammenfaßt. Hierbei bestimmt sich der Längsstrom zu

$$I_d = \frac{V \cdot Z_q}{X_d \cdot X_q + R^2} \cdot \sin(\varphi_q - \delta)$$

und der Querstrom zu

$$I_q = \frac{V \cdot Z_d}{X_d \cdot X_q + R^2} \cos(\varphi_d - \delta).$$

Es bedeuten: V = Phasenspannung, R = Ohmscher Widerstand einer Ständerphase, δ = Lastwinkel (Winkel zwischen V und I_q), Z_d , Z_q = Scheinwiderstände und X_d , X_q = Reaktanzen einer Phase in Längs- und Querrichtung; φ_d und φ_q sind die Winkel zwischen R und X_d bzw. X_q .

Die Ortskurve ist ein Kreis (Fig. 1), dessen Radius die Größe

$$\frac{V \cdot (X_d - X_q)}{2(X_q \cdot X_d + R^2)}$$

hat und dessen Mittelpunkt um den Abstand

$$\frac{V \cdot R}{X_d \cdot X_q + R^2}$$

Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor

Anmelder:

Allis-Chalmers Manufacturing Company,
West Allis, Wis. (V. St. A.)

Vertreter:

Dr. W. Müller-Boré und Dipl.-Ing. H. Gralfs,
Patentanwälte, Braunschweig, Am Bürgerpark 8

Als Erfinder benannt:

Vernon Bertram Honsinger, Cincinnati, Ohio
(V. St. A.)

Beanspruchte Priorität:

V. St. v. Amerika vom 13. September 1960
(55 621)

2

in Richtung der positiven vertikalen Ordinate und um den Abstand

$$\frac{V \cdot X_d + X_q}{2(X_d \cdot X_q + R^2)}$$

in Richtung der positiven horizontalen Abszisse vom Ursprungspunkt verschoben ist.

Leistungsfaktor (Kosinus des Winkels φ zwischen V und I) und Drehmoment (Projektion des Stromzeigers I auf den Spannungszeiger V) können leicht dem Diagramm entnommen werden. Beide Größen sind charakteristisch, um die Güte des Motors und besonders seine Ausnutzung zu beurteilen.

Der optimale Leistungsfaktor wächst mit dem Verhältnis $(1 - X_q/X_d)/(1 + X_q/X_d)$, das maximale Drehmoment (Kippmoment) mit der Differenz $(1/X_q - 1/X_d)$. Man erkennt leicht, daß eine geringe Reaktanz X_q in Querrichtung im Vergleich zu einer großen Längsreaktanz X_d für eine Steigerung der beiden Größen notwendig ist. Weiterhin ist der Leistungsfaktor günstig, wenn die Längsreaktanz selbst groß ist. In diesem Falle rückt nämlich der Kreis nahe an den Ursprungspunkt. Sein Durchmesser wächst, wenn die Querreaktanz im Verhältnis zur Längsreaktanz klein gewählt wird.

Zur Verminderung der Querreaktanz werden üblicherweise in einer magnetischen Querachse des Läufers Sperren für den Querfluß angebracht. Im

einfachsten Fall werden in Achsrichtung verlaufende Aussparungen oder Synchronisiermitten aus dem Läuferkern ausgeschnitten, so daß längs seines äußeren Umfanges ausgeprägte Pole verteilt sind. Die Betriebseigenschaften eines solchen bekannten Motors sind jedoch noch sehr ungünstig. Die als Sperren dienenden Aussparungen müssen nämlich einerseits breit und tief sein, um hinreichend wirksam zu sein. Dadurch wird aber andererseits auch die magnetische Leitfähigkeit für den Längsfluß verschlechtert. Die Folge ist, daß optimaler Leistungsfaktor und Kippmoment nur gering sind, wie es aus dem Kreisdiagramm in Fig. 1 bzw. aus der Stromortskurve 20 in Fig. 2 ersichtlich ist.

Eine wirksamere Verringerung des Querflusses ergibt sich, wenn im Läuferkörper zusätzlich zu den genannten Aussparungen weitere Flußsperren vorgesehen werden. Solche können in an sich bekannter Weise Längsnuten sein, die in der Mitte der ausgeprägten Pole angebracht sind und sich radial nach innen erstrecken. Das Betriebsverhalten dieses Motors ist günstiger, wie aus dem Verlauf der Primärstromortskurve hervorgeht, welche in Fig. 2 qualitativ als Ortskurve 21 dargestellt ist.

Man hat auch bereits erkannt, daß die Betriebseigenschaften eines Reluktanzmotors noch weiter verbessert werden können, wenn in seinem Läufer Permanentmagnete angebracht werden. Man erzielt dann eine Stromortskurve mit hohem Kippmoment und gutem Leistungsfaktor des Motors. Der gute Leistungsfaktor bedingt bei einem solchen Motor bei gleicher Leistung bzw. gleichem Drehmoment gegenüber Motoren ohne Permanentmagnete eine entsprechend geringere Stromaufnahme.

Bei einem bekannten Motor mit Permanentmagneten besteht der Läufer aus abwechselnd aufeinandergelegten magnetisierbaren und nicht magnetisierbaren Schichten. Die Schichtungsrichtung verläuft parallel zur Läuferachse und zur magnetischen Längsachse. Dabei ist die Schichtung in der Polzone ausgespart und dort mindestens ein Permanentmagnet in Schichtungsrichtung, d. h. in der magnetischen Längsachse wirkend angeordnet. Durch den oder die Permanentmagnete erhält man eine zusätzliche Erregung in der Längsachse wie bei einem mit Gleichstrom erregten Läufer. Infolge der ferner geringen magnetischen Leitfähigkeit in der Querachse, d. h. quer zur Schichtungsrichtung des Läufers, weist der Motor ein hohes Kippmoment und einen guten Leistungsfaktor auf.

Allerdings läßt sich der bekannte Motor mit parallel zur Läuferachse geschichteten Blechen nur in zweipoliger Ausführung wirtschaftlich fertigen, während bei einer größeren Polzahl die Herstellung sehr kompliziert und teuer ist.

Die Erfindung hat sich das Ziel gesetzt, einen selbstanlaufenden Synchronreluktanzmotor der eingangs genannten Gattung zu schaffen, der diese Beschränkung nicht kennt, sondern für beliebige Polzahlen einfach gebaut werden kann. Weiterhin soll der Motor nach der Erfindung einen möglichst großen Unterschied zwischen den Reaktanzen in Längs- und Querrichtung haben.

Hierzu sieht die Erfindung vor, daß die Permanentmagnete so in dem Läuferkern angeordnet und ausgerichtet sind, daß sie dem magnetischen Querfluß, der in dem Kern zwischen den ausgeprägten Polen erregt wird, entgegenwirken und diesen vermindern.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Permanentmagnete in den als Querflußsperren wirkenden Nuten angebracht, die in den ausgeprägten Polen vorgesehen sind und sich radial nach innen erstrecken. Zusätzlich können auch Magnete in den axial verlaufenden Aussparungen des Läufers, den Pollücken, eingesetzt werden.

Da ein Permanentmagnet einen hohen magnetischen Innenwiderstand aufweist, ist die Querreaktanz sehr klein, und es ergibt sich ein großer Durchmesser der Stromortskurve. Der Motor zeichnet sich darum in an sich bekannter Weise durch ein hohes Kippmoment und einen guten Leistungsfaktor aus. Beide Größen werden jedoch durch die erfindungsgemäße Anordnung der Permanentmagnete infolge des zusätzlichen vom Permanentmagnet erregten Feldes noch günstiger, denn durch die Permanentmagnete wird der magnetische Fluß in der Querrichtung weiterhin noch erheblich geschwächt, was zu einer weiteren Vergrößerung des Durchmessers der Stromortskurve entsprechend Ziffer 22 der Fig. 2 führt.

Die Permanentmagnete sind in den Flußsperren für den Querfluß eingelegt und nehmen daher keinen zusätzlichen Raum in Anspruch. Im Gegenteil, die Flußsperren brauchen weniger breit gehalten zu werden, so daß ein ausreichender Eisenquerschnitt zur unbehinderten Führung des Längsflusses zur Verfügung steht. Es können sogar die Aussparungen (Pollücken) ganz entfallen oder brauchen nur weniger tief zu sein.

Der Motor kann mit beliebiger Polzahl ohne wesentliche Kostenerhöhung hergestellt werden, da in an sich bei Reluktanzmotoren ohne Permanentmagnete im Rotor bekannter Weise zum Aufbau des Läufers Bleche mit in üblicher Weise quer zur Läuferachse geschichteten Blechen verwendet werden.

Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise an Hand der weiteren Zeichnungen beschrieben; in diesen zeigt

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht des Läufers eines erfindungsgemäßen Motors, teils im Schnitt, bei dem einige Teile nicht dargestellt sind,

Fig. 4 einen Schnitt im vergrößerten Maßstab durch einen Motor mit einem Läufer nach Fig. 3 und

Fig. 5, 6, 7 und 8 Querschnitte verschiedener Ausführungsformen des Läufers im verkleinerten Maßstab.

Nach den Fig. 3 und 4 umfaßt ein selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor 35 einen zylindrischen Läufer 36, der auf einer Welle 37 befestigt und drehbar im Ständer 38 gelagert ist. Der Ständer 38 trägt eine verteilte Wicklung, wie sie normalerweise bei Induktionsmotoren verwendet wird, und ist schematisch so dargestellt, daß vier umlaufende Pole 39 gebildet werden. Der Rotor 36 ist aus einer Reihe von Blechen geschichtet und weist eine Mehrzahl von in einem Abstand voneinander angeordneten und längs des Läuferumfangs nahe seinem Außendurchmesser verteilten Wicklungsnuten 43 üblicher Ausführung auf.

Außerdem weist der Läufer 36 des Motors 35 an seinem Umfang in einem Abstand voneinander angeordnete und sich in Längsrichtung erstreckende Aussparungen oder Vertiefungen 46 auf, durch welche ausgeprägte Pole 45 gebildet werden. Bei

einer anderen Ausführung können wirksame ausgeprägte magnetische Pole ohne Aussparungen an der Läuferoberfläche durch geeignet entworfene Sperren für den Fluß, wie sie in Fig. 5 gezeigt sind, gebildet werden. Die Sperren für den Fluß haben einen hohen magnetischen Widerstand, der dem Fluß entgegenwirkt. Sie sind in bekannter Weise so im Läufer angebracht, daß für den Fluß im Innern des Läufers Wege mit hohem magnetischem Widerstand und andere Wege mit geringem magnetischem Widerstand geschaffen werden. In einem Abstand von 180° el. einander folgende Teile der Querschnittsfläche am Läuferumfang stellen für den Fluß einen Weg mit geringem magnetischem Widerstand dar und werden daher zu wirksamen ausgeprägten Polen. Der vom Ständer erregte Fluß konzentriert sich in diesen Gebieten. So können in bekannter Weise wirksame ausgeprägte magnetische Pole an einem zylindrischen Läufer besser durch die Verwendung von Flußsperren im Innern des Läufers entsprechend Fig. 5 gebildet werden als durch am Umfang und in einem Abstand voneinander verteilte Aussparungen.

Wie bekannt, wird die Mittellinie eines ausgeprägten Pols oder der Fläche mit der Flußkonzentration die magnetische Längsachse genannt. Die magnetische Querachse ist um den elektrischen Winkel 90° zur Längsachse verdreht. In den dargestellten Läuferquerschnitten liegt die Längsachse 48 zwischen den Flußsperren 49. Die Querachse 50 ist auf dem halben Wege zwischen zwei benachbarten Längsachsen ausgerichtet.

Bei dem Motor nach Fig. 4 ist der Läufer 36, wie festgestellt, mit ausgeprägten Polen 45 versehen, die zwischen den sich in Längsrichtung erstreckenden und am Läuferumfang in einem Abstand voneinander angeordneten Aussparungen 46 gebildet werden. Jeder ausgeprägte Pol 45 enthält ein Paar sich radial nach innen erstreckender Nuten 41. Diese Nuten 41 dienen in bekannter Weise zur Flußspernung und erstrecken sich vom Außenumfang des Läufers nach innen. Das innere Ende einer jeden dieser Nuten eines ausgeprägten Pols ist durch eine Verbindungsnut 49 mit dem inneren Ende einer ähnlichen Nut in den benachbarten ausgeprägten Polen auf jeder Seite verbunden. Wie in den Zeichnungen dargestellt, ist jede Verbindungsnut zwei benachbarten Polen gemeinsam. So bilden jede Verbindungsnut 49 und die beiden sich radial nach innen erstreckenden Nuten 41, die mit der Nut 49 zusammenhängen, eine kontinuierliche Flußsperre, die sich von der Außenfläche eines Pols zu der Außenfläche jedes benachbarten Pols erstreckt.

Diese kontinuierlichen Flußsperren sind so verteilt, daß sie dem Querfluß entgegenwirken, während sie für die Ausbildung des Längsflusses nur eine geringe Störung bedeuten.

In Fig. 3 sind die Wicklungsnuten 43, die radial verlaufenden flußsperrenden Nuten 41, die Verbindungsnuten 49 und die Aussparungen 46 geschrägt gezeichnet, wodurch die Eigenschaften des Motors im asynchronen Betrieb in bekannter Weise verbessert werden.

Nach der Erfindung sind nun Permanentmagnete 55 in verschiedener Weise im Läufer angeordnet und so verteilt, daß sie dem von den umlaufenden magnetischen Polen des Ständers erregten Fluß in der Querachse entgegenwirken. Wie in Fig. 4 gezeigt, sind die Magnete 55 in den Verbindungsnuten 49

und in den in Längsrichtung sich erstreckenden Aussparungen 46 so angeordnet, daß sie symmetrisch zur Querachse 50 wirken. Die Magnete 55 in unter einem Winkel benachbarten Aussparungen 46 wirken mit entgegengesetzter Polarität, so daß die Magnete in den Aussparungen abwechselnd mit radial nach außen gerichtetem Nordpol und radial nach außen gerichtetem Südpol aufeinanderfolgen. Die Buchstaben N (Nord) und S (Süd) zeigen die Polarität des radial nach außen gerichteten Pols der Magnete 55 an. Im Betrieb wird der Fluß eines umlaufenden Ständerpols 39, der zwischen den Polen 45 in den Läufer einzutreten sucht, durch die Magnete 55N zurückgedrängt. Der Fluß, welcher aus der Läuferfläche zwischen den Polen in einen Ständerpol 39 einzutreten versucht, wird durch die Magnete 55S zurückgedrängt. Damit wird der Fluß in der Querachse des Motors verringert. Nach Erreichen der Synchronzahl richtet sich der Läufer selbsttätig so aus, daß die ausgeprägten Pole 45 eine feste Kopplung mit den umlaufenden Polen des Ständers eingehen.

Permanentmagnete 55a werden auch in den radial verlaufenden flußsperrenden Nuten 41 angeordnet. Diese Magnete sind so ausgerichtet, daß ihre den Magneten 55 in den Aussparungen 46 zugewandten Pole die gleiche Polarität haben wie die radial nach außen weisenden Pole dieser Magnete. Bei dieser an Hand von Fig. 4 beschriebenen Ausführung der Erfindung enthält im wesentlichen die gesamte kontinuierliche flußsperrende Nut, die aus einer Verbindungsnut 49 und den beiden mit dieser verbundenen radial verlaufenden Nuten 41 gebildet wird, einen Permanentmagnet.

Die in Fig. 5 bis 8 dargestellten Läufer enthalten Permanentmagnete, die an verschiedenen Stellen des Läufers angebracht sind. In jedem Fall sind die Magnete so gerichtet, daß sie dem Fluß in der Querachse des Läufers entgegenwirken. Diese Magnete wirken im wesentlichen in der gleichen Weise, wie es im Zusammenhang mit dem Läufer nach Fig. 4 beschrieben wurde. In den Fig. 5 bis 8 sind die normalen Wicklungsnuten in jedem ausgeprägten Pol durch die Bezugsnummer 53 bezeichnet.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Läufer 57 fehlen die in Längsrichtung verlaufenden Aussparungen 46, um den Längsfluß auf einen größten Wert zu bringen. Dagegen werden radial verlaufende flußsperrende Nuten 41 und Verbindungsnuten 49 verwendet, die wirksame ausgeprägte magnetische Pole bilden und zusammen mit den in den Nuten angeordneten Permanentmagneten 55 den Querfluß vermindern. Wie weiter oben ausgeführt, schaffen die Sperren in diesem Läufer einen ausreichenden magnetischen Widerstand für den Fluß längs des einen Weges und bewirken, daß der Läufer wirksame ausgeprägte magnetische Pole in den Querschnittsflächen in der Nähe der am weitesten außen am Umfang gelegenen Teile der flußsperrenden Nuten aufweist.

In der in Fig. 6 gezeigten Konstruktion enthalten die ausgeprägten Pole 45 des Läufers 60, die durch in Längsrichtung verlaufende Aussparungen 46 gebildet werden, keine Permanentmagnete. Permanentmagnete 55 sind jedoch in der flußsperrenden Verbindungsnut 49 und den radialen Nuten 41 zur Verminderung des Querflusses vorgesehen.

Bei der Konstruktion nach Fig. 7 sind die Permanentmagnete des Läufers 65 sowohl in den sich

in Längsrichtung erstreckenden Aussparungen 46 wie in den flußsperrenden Verbindungsnuten 49 und den radial verlaufenden Nuten 41 angeordnet. Die in Längsrichtung sich erstreckenden Aussparungen 46 erhalten Permanentmagnete mit veränderlicher Stärke, um eine wahlweise einstellbare Flußdichte im Luftspalt zu erzeugen. Die veränderliche Flußdichte des Querachsenflusses kann Punkt für Punkt durch den entgegenwirkenden Fluß der Permanentmagnete angepaßt werden. Es können auch andere Funktionsverläufe, z. B. ein sinusförmiger, für die Gestalt des Magnets zugrunde gelegt werden wie bei dem in Fig. 7 gezeigten abgestuften Magnet 66.

Der Läufer 68 in der nach Fig. 8 ausgeführten Konstruktion trägt Permanentmagnete, die ebenfalls in den sich in Längsrichtung erstreckenden bogenförmigen Aussparungen 69, in den flußsperrenden Verbindungsnuten 49 und den radialen Nuten 41 angeordnet sind. Die Permanentmagnete 70 in den Aussparungen füllen in diesem Fall jedoch die sich in Längsrichtung erstreckenden Aussparungen vollständig aus. Die Aussparung benötigt durch die Verwendung von Permanentmagneten eine nur sehr geringe Tiefe. Diese Maßnahme schafft einen größtmöglichen Eisenquerschnitt für den Längsfluß und bewirkt daher eine weitere Verstärkung dieses Flusses. Fig. 8 zeigt auch Permanentmagnete 71, die in den normalen Wicklungsnuten 53 in der Mitte der ausgeprägten Pole zwischen den radial verlaufenden flußsperrenden Nuten 41 angeordnet sind. Dies ist ein zur weiteren Verminderung des Querachsenflusses gewählter Schritt.

Bei allen in den Zeichnungen dargestellten Läuferkonstruktionen füllt ein elektrisch leitendes, unmagnetisches Material den Raum in den normalen Wicklungsnuten 43 und 53, in den in Längsrichtung verlaufenden Aussparungen 46 und den als Flußsperren wirkenden Nuten 41 und 49, soweit dieser nicht von den Permanentmagneten eingenommen wird. Dieses elektrisch leitende Material ist an den Enden des Läufers durch Kurzschlußringe 75 verbunden und bildet in bekannter Weise eine Kurzschlußläuferwicklung für den asynchronen Anlauf des Motors.

Patentansprüche:

1. Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor mit einem Ständer, der eine Wicklung zur Erzeugung eines Drehfeldes aufweist, einem Läufer, der drehbar in dem Ständer gelagert ist, wobei der Läufer eine Kurzschlußwicklung für den Anlauf des Motors trägt und einen magnetisch lei-

tenden Kern mit einer der Statorpolzahl entsprechenden Zahl über den Umfang gleichmäßig verteilter ausgeprägter Pole aufweist, von denen ein jeder mindestens eine sich in Längsrichtung erstreckende flußsperrende Nut besitzt, und mit im Läufer angeordneten Permanentmagneten, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete (55) so in dem Läuferkern (36) angeordnet und ausgerichtet sind, daß sie dem magnetischen Querfluß, der in dem Kern zwischen den ausgeprägten Polen (45) erregt wird, entgegenwirken und diesen vermindern.

2. Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete in den den Querfluß sperrenden Nuten des Rotors angeordnet sind.

3. Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor nach Anspruch 2, bei dem sich die oder jede den Querfluß sperrende Nut in jedem ausgeprägten Rotorpol, vom Außenumfang des Läufers gesehen, nach innen erstreckt und das innere Ende dieser Nut mit dem inneren Ende einer den Querfluß sperrenden Nut eines benachbarten ausgeprägten Pols durch eine Verbindungsnut verbunden ist, um eine kontinuierliche den Querfluß sperrende Nut zu bilden, die sich von der Außenfläche eines ausgeprägten Pols zur Außenfläche eines benachbarten ausgeprägten Pols erstreckt, dadurch gekennzeichnet, daß im wesentlichen in der gesamten kontinuierlichen den Querfluß sperrenden Nut ein Permanentmagnet angeordnet ist.

4. Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor nach den Ansprüchen 1 bis 3, bei dem zwischen benachbarten ausgeprägten Polen am Rotorumfang in Längsrichtung verlaufende, den Querfluß sperrende Aussparungen vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß Permanentmagnete in den genannten den Querfluß sperrenden Aussparungen angeordnet sind.

5. Selbstanlaufender Synchronreluktanzmotor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete, die in den den Querfluß sperrenden Aussparungen angeordnet sind, eine an ihrer radial äußeren Oberfläche gemessene wählbare, veränderliche Stärke haben, um einstellbare Flußdichten in dem Luftspalt der Querachsen zwischen Ständer und Läufer zu bewirken.

In Betracht gezogene Druckschriften:
Deutsche Auslegeschrift Nr. 1 043 488;
USA.-Patentschriften Nr. 2 733 362, 2 913 607.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

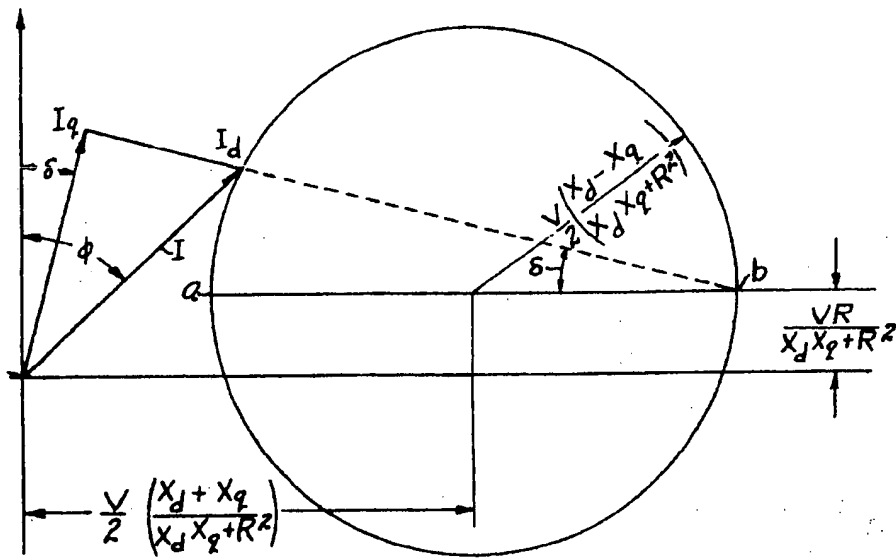


Fig. 1

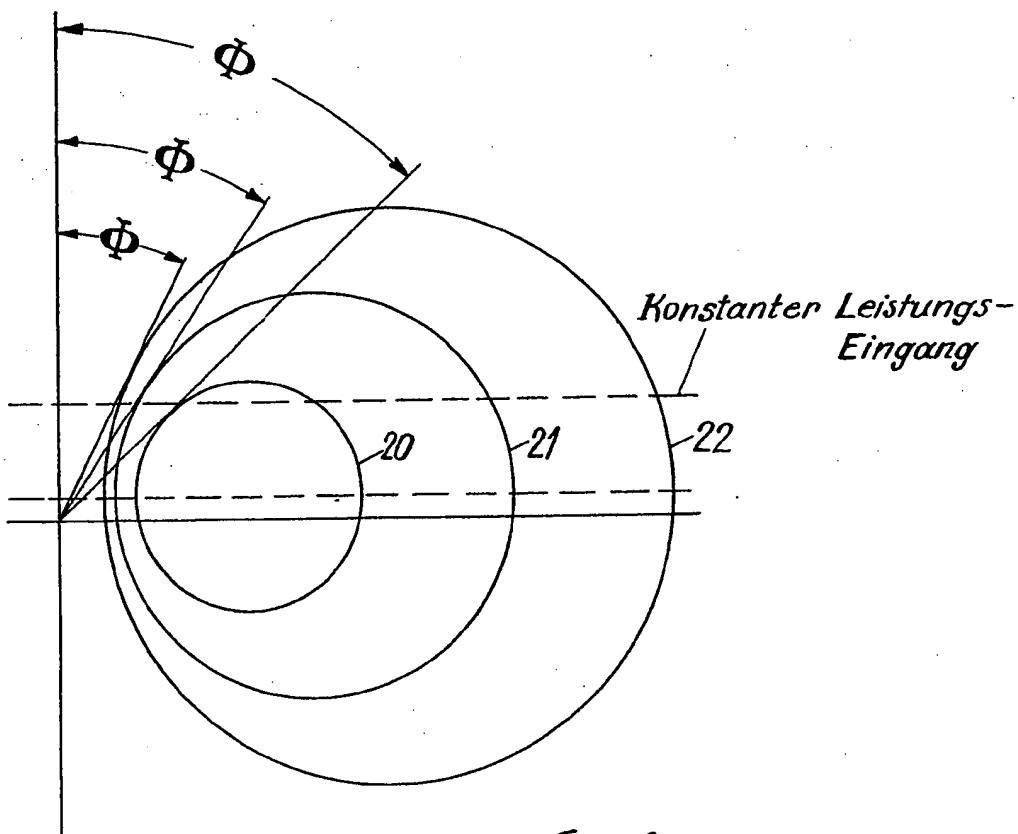


Fig. 2

